

Энергетический спектр новых GaSb/AIP квантовых точек

Д. С. Абрамкин^{1,2,*}, М. О. Петрушков¹, Д. Б. Богомолов¹, М. Ю. Есин¹,
М. А. Путятю¹, В. В. Преображенский¹

¹ Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева, 13, Новосибирск, 630090

² Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090

* dalamber.07@mail.ru

Исследованы процессы формирования самоорганизованных квантовых точек (КТ) в гетеросистеме GaSb/AIP. Изучение кристаллического строения полученных КТ показало, что (1) КТ состоят из твердого раствора $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$ и (2) упругие деформации в них практически полностью релаксировали. Экспериментальные исследования энергетического спектра КТ показали, что они характеризуются энергетическим спектром второго рода с основным электронным состоянием, принадлежащим X долине зоны проводимости AIP, а основное дырочное состояние лежит в $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{Sb}$. Сопоставление экспериментальных данных с результатами расчетов энергетического спектра КТ позволило оценить содержание атомов Al в составе твердого раствора (не более 10%) и получить оценку на значение энергии локализации дырок в КТ — 1.65–1.70 эВ. Такое высокое значение энергии локализации дырок в КТ позволяет ожидать, что время хранения заряда в таких КТ составит более 10 лет, что делает их перспективным для создания ячеек энергонезависимой памяти.

Введение

Недавние теоретические исследования энергетического строения квантовых точек (КТ), формирующихся в гетеросистеме GaSb/AIP [1], показали, что такие КТ могут характеризоваться энергией локализации дырки (E_{loc}) вплоть до 2 эВ. В соответствии с результатами [2], при данной E_{loc} ожидается гигантское время хранения заряда в КТ $\gg 100$ лет. Гетероструктуры с такими КТ могут найти применение в качестве плавающего затвора в устройствах флеш-памяти, основанных на материалах A^3B^5 [3]. Сочетание высокого быстродействия, сравнимого с DRAM, и энергонезависимого хранения заряда делает такую память одним из кандидатов на роль универсальной памяти. На данный момент рекордное значение E_{loc} реализовано для GaSb/GaP КТ и составляет 1.18 эВ, что обеспечивает время хранения заряда 4 дня [4]. К сожалению, этого не достаточно для создания полноценной энергонезависимой памяти, а, значит, поиск и получение новых КТ с большей E_{loc} остается актуальной задачей. Рассматриваемые GaSb/AIP КТ ранее экспериментально не изучались. В докладе обсуждаются результаты экспериментальных исследований энергетического строения новых GaSb/AIP КТ.

Рост гетероструктур

Гетероструктуры были выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии на Si(100) подложках. После роста буферных слоев GaP/Si выращивался 150 нм слой AIP при температуре подложки (T_S) 450 °C. Рост КТ проходил путем осаждения 1.6 монослоев (МС) GaSb на поверхность AIP при той же T_S с последующим прерыванием роста на 30 с. Сформированные КТ зарастивались слоем AIP толщиной 150 нм при той же T_S . В целях предотвращения окисления AIP гетероструктура закрывалась 25 нм слоем GaP. Для сравнения была выращена структура с AIP слоями без КТ. Кроме того, выращена структура с незахороненными КТ для проведения исследований методом атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Кристаллическое строение КТ

Процесс формирования КТ *in situ* контролировался методом дифракции быстрых электронов на отражение (ДБЭО). При осаждении GaSb в количестве менее 1.55 МС картина ДБЭО соответствует двумерной дифракции на реконструированной поверхности.

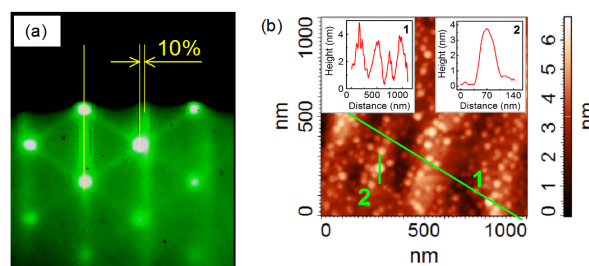


Рис. 1. Картина ДБЭО, полученная после формирования КТ (a); пунктиром отмечены рефлексы, связанные с дифракцией на поверхностной сверхструктуре AIP. АСМ-изображение поверхности структуры с незахороненными КТ (b)

Осаждение GaSb свыше 1.55 МС приводит к появлению брэгговских рефлексов, соответствующей дифракции электронов на объемных островках. Анализ геометрии картины брэгговских рефлексов, представленной на рис. 1, а, показывает, что постоянная решетки в образовавшихся островках превосходит постоянную решетки AIP на $10 \pm 1\%$. Поскольку расхождение параметров решетки GaSb и AIP составляет 10.5% [5], это позволяет утверждать, что упругие деформации в таких КТ практически полностью релаксировали. Принимая во внимание тот факт, что постоянная решетки GaSb практически не отличается от постоянной решетки AlSb [5], мы можем утверждать, что КТ состоят из твердого раствора $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{Sb}$. АСМ-исследование гетероструктуры с незахороненными КТ, проведенное непосредственно после извлечения гетероструктуры из ростовой камеры, показало, что плотность массива КТ составляет $2.5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, вертикальные размеры КТ лежат в пределах 2–4 нм, а горизонтальные — в пределах 30–60 нм (рис. 1, b).